2M

УДК 004.89:004.93

К.В. Мурыгин
Институт проблем искусственного интеллекта МОН Украины и НАН Украины,
г. Донецк, Украина
kir@iai.donetsk.ua

Обнаружение автомобильных номеров на основе смешанного каскада классификаторов

В статье приводятся результаты решения задачи обнаружения номеров государственной регистрации автотранспортных средств на изображениях. Решение основано на использовании каскада классификаторов в процессе мультимасштабного сканирования изображений для поиска однострочных номерных знаков. При построении каскада использовались классификаторы разных типов: начальные классификаторы основаны на анализе положения обучающих объектов в узлах многомерного куба (МКВ-классификаторы), конечные – формировались в виде линейной комбинации значений свойств с помощью алгоритма AdaBoost. Использование каскада смешанных классификаторов позволило увеличить быстродействие алгоритма обнаружения.

Введение

Автоматизация управления движением автотранспорта является в настоящее время актуальной и практически важной задачей, в рамках которой активно разрабатываются и развиваются системы автоматического распознавания номерных знаков. Подобные системы имеют достаточно широкий спектр возможных применений:

На платных автомобильных стоянках	Автомобильный номер считывается дважды: при въезде и выезде. Компьютерная система автоматически определяет время стоянки и вычисляет величину оплаты. Дополнительно такая система может определять автомобили, для которых на данной стоянке плата не взимается.
Контроль доступа	Автоматический пропуск в охраняемую зону автомобилей с номерами, входящими в список.
На платных автодорогах	Автомобильный номер используется для определения платы за проезд по платной дороге или для дополнительной проверки разрешения на проезд.
Пограничный контроль	Номер автомобиля регистрируется при въезде в страну и выезде из нее. Эта информация заносится в централизованную базу данных и используется для мониторинга пересечений границы.
Розыск краденых автомобилей	Такая система, размещенная на обочине дороги, контролирует номера всех проезжающих мимо нее машин, сравнивая их в реальном масштабе времени со списком угнанных автомобилей или тех, у которых просрочен штраф. При проезде автомобиля, номер которого есть в этом списке, система выдает сообщение дорожной полиции, которая останавливает этот автомобиль.
Контроль превышения скорости и проезда на красный свет	В ряде стран для решения таких задач уже используются видеокамеры, однако обработка фотографий автомобилей нарушителей выполняется вручную. Применение технологии распознавания автомобильных номерных знаков позволяет автоматизировать этот процесс, вплоть до печати квитанции на оплату штрафа.
Управление движением	Применение систем распознавания автомобильных номерных знаков позволяет автоматически классифицировать автомобили на несколько типов (например, авторизованные, известные посетители и неизвестные посетители, требующие проверки), направляя их на различные полосы движения, сокращая тем самым время ожидания и упрощая работу службе охраны.

В настоящее время существует достаточно много систем автоматического распознавания автомобильных номеров, ориентированных на национальные стандарты номерных знаков, которые могут отличаться по многим характеристикам: размер, форма, цвет символов и фона, количество и состав (буквы и цифры) символов, алфавит символов. Поэтому задача распознавания номерных знаков автотранспортных средств, принятых в Украине, является актуальной и практически важной.

Решение задачи обнаружения автомобильного номера является первым этапом в разработке систем автоматического контроля движения транспортных средств на основе распознавания номерных знаков. После обнаружения выполняются другие этапы обработки и анализа изображений, такие, как нормализация изображения (например, по углу поворота номерного знака, отношению горизонтального размера изображения номера к вертикальному, углу крена символов номера), сегментация символов, распознавание символов.

Целью данной работы является разработка и исследование методов обнаружения автомобильных номеров, качество работы которых во многом определяет характеристики всего комплекса алгоритмов, используемых в системе распознавания номерных знаков.

Общие принципы используемого метода обнаружения

Для обнаружения автомобильных номеров на цифровых изображениях используется большое разнообразие различных эвристических подходов и их комбинаций, основанных на предполагаемых отличиях в свойствах изображений номерных знаков, и изображений, не относящихся к ним. К таким подходам можно отнести использование: карт вертикальных границ [1], [2]; спектральных характеристик [2]; нечетких карт принадлежности точек номерным знакам [3]; подсчета числа границ, следующих на определенном расстоянии друг от друга [4]; морфологического преобразования для поиска линий символов, имеющих определенную ширину [5] и др.

В отличие от перечисленных подходов, используемый метод основывается на общих принципах поиска объектов на изображениях, предложенных в [6]. В качестве исходных данных для получения эффективного алгоритма поиска используется набор полутоновых изображений автомобильных номеров и изображений фона. При этом никаких эвристических знаний о свойствах изображений номеров не используется.

В ходе обнаружения выполняется мультимасштабное сканирование изображения с некоторым пространственным и масштабным шагом, которые подбираются экспериментально на основе требований к скорости и качеству работы алгоритма, либо могут быть учтены при обучении путем дополнения базы изображений номеров, изображениями с изменением масштаба и смещением на половину желаемого шага мультимасштабного сканирования. Для каждой области-кандидата выполняется каскадная классификация на принадлежность номерному знаку. В качестве классификаторов каскада используются классификаторы двух типов:

1. МКВ-классификаторы [7] – на начальных этапах каскада.
2. Линейные классификаторы, полученные с помощью алгоритма AdaBoost [6], [8], – на завершающих этапах каскада.

За счет использования на начальных этапах МКВ-классификаторов сокращается число используемых для классификации свойств при сохранении высокого качества классификации [7], что в сочетании с возможностью древовидного представления МКВ-классификатора позволяет существенно сократить время поиска.

В качестве свойств изображения, используемых для классификации МКВ-классификаторами и линейными классификаторами, использовались Хаар-подобные логические свойства, предложенные в [9], значения которых не зависят от линейных поэлементных преобразований изображений, связанных с изменениями яркости и контрастности. Для быстрого получения значений свойств для произвольной области изображения использовался алгоритм [6], основанный на предварительном расчете интегрального изображения.

Обучение каскада классификаторов

Для обучения классификаторов использовалась база изображений однострочных номерных знаков, которые были размечены вручную и вырезаны из реальных цифровых фотографий автотранспортных средств. Всего было обработано 282 исходных изображения. Каждое изображение, содержащее изображение номера, использовалось для формирования набора обучающих изображений номеров путем изменения масштаба вырезанного изображения номера и угла его поворота в плоскости изображения. При изменении масштаба изображения отношение горизонтального размера к вертикальному варьировалось в диапазоне 3,3 – 4,2. Изменение угла поворота выполнялось в диапазоне (– 5; 5) градусов с шагом в 1 градус. В результате полученный обучающий набор изображений номеров насчитывал около 45 000 изображений.

Для формирования изображений фона использовались те же изображения, за исключением области, соответствующей номеру. Таким образом, формирование фона проходило с использованием изображений, соответствующих изображениям, получаемым в реальных условиях эксплуатации системы автоматического распознавания номерных знаков. Перед обучением очередного классификатора каскада случайным образом из используемых изображений вырезались области, классифицируемые как автомобильные номера всеми предыдущими классификаторами каскада. В проведенных экспериментах таких изображений вырезалось около 20 000 для каждого классификатора.

В ходе обучения каскада для каждого классификатора использовалось ограничение на ошибку пропуска цели – 0,01. При обучении с помощью алгоритма AdaBoost на конечных этапах каскада обучение велось до достижения требуемой ошибки пропуска цели. Обучение МКВ-классификаторов, используемых на начальных этапах каскада, выполнялось путем минимизации суммарной ошибки классификации согласно алгоритму, приведенному в [7]. После этого выполнялось комбинирование свойств путем исключения из классификатора случайного свойства и подбора более эффективного, снижающего итоговую суммарную ошибку классификации. Полученный классификатор представлял собой дерево решений. Назначение маркеров классов в вершинах многомерного куба выполнялось таким образом, чтобы ошибка пропуска не превосходила указанное выше ограничение.

Результаты обучения каскада классификаторов для обнаружения автомобильных номеров

В ходе описанного процесса обучения был получен смешанный каскад из 6-ти классификаторов, имеющих характеристики, приведенные в табл. 1. В последней строке табл. 1 приведены также общие характеристики для всего каскада.

Таблица 1 – Характеристики классификаторов смешанного каскада для обнаружения номерных знаков

Номер классификатора в каскаде	Тип классификатора	Число свойств	Ошибка пропуска цели	Ошибка ложного обнаружения
1	МКВ	5	0,01	0,41
2	МКВ	10	0,01	0,22
3	МКВ	12	0,01	0,11
4	Линейный	138	0,01	0,01
5	Линейный	303	0,01	0,01
6	Линейный	465	0,01	0,01
Весь каскад	–	–	0,059	$<10^{-8}$

Из приведенной таблицы видно, что полученный каскад имеет высокие характеристики по качеству решения задачи классификации типа объект/фон, где объектом выступают изображения автомобильных номеров. Необходимость достижения приведенной в таблице характеристики ошибки ложного обнаружения для всего каскада объясняется тем, что при мультимасштабном сканировании изображений число кандидатов достаточно велико, в частности для изображений 640*480 пикселей и приемлемых размерах пространственного шага и шага прохода по масштабам, число кандидатов может быть порядка 106.

Примеры работы алгоритма обнаружения на основе полученного каскада приведены на рис. 1.



Рисунок 1 – Примеры работы алгоритма обнаружения автомобильных номеров на реальных изображениях

В приведенных изображениях примеров ложного обнаружения не оказалось. Однако стоит заметить, что ложное обнаружение чаще всего проявляется в случаях присутствия на изображении надписей на бигбордах и рекламных вывесках магазинов, что может быть исключено установкой камеры с учетом специфических дорожных условий. Кроме этого, так как ложные обнаружения встречаются редко, их можно исключить на дальнейших этапах обработки найденных изображений номерных знаков, без существенного влияния на скорость обработки данных всей системы распознавания.

Исследование скоростных характеристик алгоритма обнаружения проводилось на компьютере Pentium Core2Duo с частотой процессора 2,33 ГГц. В качестве входных изображений использовались изображения размером 640*480 пикселей, получаемые от подключенной к компьютеру видеокамеры с частотой 30 кадров в секунду. При мультимасштабном сканировании изображений проход по масштабам выполнялся в диапазоне горизонтальных размеров номеров от 106 до 214 пикселей с мультипликативным шагом в 1,1 раза (всего 8 масштабов).

Проход по изображению выполнялся с различными шагами по вертикали h_y и горизонтали h_x, зависящими соответственно от вертикального и горизонтального размеров искомого изображения номера:

$$h_x = 0,05 \times W \,,\; h_y = 0,05 \times H \,,$$

где W – горизонтальный, а H – вертикальный размеры искомого изображения номера.

В результате проведенных экспериментов были определены скоростные характеристики предложенного алгоритма обнаружения, которые составили в среднем 12 – 15 кадров в секунду. При необходимости увеличения скорости обработки, кроме изменения шагов мультимасштабного сканирования, можно ограничить область поиска номера на основе знания вероятного места его расположения, параметры которого зависят от конкретных условий расположения камеры.

Выводы

Рассмотренный в статье подход к решению задачи обнаружения номерных знаков автомобилей позволил достичь хороших показателей по качеству и скорости обработки входных изображений. В ходе обучения был получен каскад классификаторов, имеющий следующие характеристики: ошибка пропуска цели – 0,059, ошибка ложного обнаружения – $<10^{-8}$. Скорость обработки изображений размером 640*480 пикселей на компьютере Pentium Core2Duo с частотой процессора 2,33 ГГц – 12 – 15 кадров в секунду. Рассмотренный алгоритм позволяет успешно использовать его в качестве первого этапа обработки изображений в системах распознавания автомобильных номеров. Дальнейшие исследования в направлении создания системы автоматического распознавания могут быть связаны с нормализацией изображения номера, сегментацией символов и распознаванием символов, представленных на изображении номерного знака.

Литература

1. Real-Time Automatic Vehicle Management System Using Vehicle Tracking And Car Plate Number Identification / Lee H., Kim D., Kim D., Bang S.Y. // ICME. – 2003. – № 7. – P. 353-356.
2. Acosta B.D. Experiments in Image Segmentation for Automatic US License Plate Recognition / B.D. Acosta // Thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of MASTER OF SCIENCE in Computer Science. – 2004. – 104 p.

3. Automatic License Plate Recognition / Chang S.-L., Chen L.-S., Chung Y.-C., Chen S.-W. // IEEE TRans. on Intelligent Transportation Systems. – 2004. – Vol. 5, № 1. – P. 42-53.
4. Broumandnia A. Application of pattern recognition for Farsi license plate recognition / A. Broumandnia, M. Fathy // ICGST Int. J. on Graphics, Vision and Image Processing. – 2005. – Vol. 5, № 2. – P. 25-31.
5. Martin F. Automatic Car Plate Recognition Using a Partial Segmentation Algorithm / F. Martin, D. Borges // Proc. of Signal Processing, Pattern Recognition, and Applications. – 2003. – P. 246-249.
6. Paul Viola. Jones Robust real-time object detection / Paul Viola and Michael J. // Proc. of IEEE Workshop on Statistical and Computational Theories of Vision. – 2001.
7. Мурыгин К.В. Комбинирование бинарных свойств в виде МКВ-классификатора / К.В. Мурыгин // Искусственный интеллект. – 2010. – № 1. – С. 108-113.
8. Schapire R.E. Improved Boosting Algorithms Using Confidence-rated Predictions / R.E. Schapire, Y. Singer // Proc. of Machine Learning. – 1999. – P. 297-336.
9. Мурыгин К.В. Особенности реализации алгоритма AdaBoost для обнаружения объектов на изображениях / К.В. Мурыгин // Искусственный интеллект. – 2009. – № 3. – С. 573-581.

К.В. Муригін
Виявлення автомобільних номерів на основі змішаного каскаду класифікаторів
У статті наводяться результати вирішення задачі виявлення номерів державної реєстрації автотранспортних засобів на зображеннях. Рішення ґрунтується на використанні каскаду класифікаторів у процесі мультимасштабного сканування зображень для пошуку однорядкових номерних знаків. При побудові каскаду використовувалися класифікатори різних типів: початкові класифікатори ґрунтуються на аналізі положення навчальних об’єктів у вузлах багатомірного куба (МКВ-класифікатори), кінцеві – формувалися у вигляді лінійної комбінації значень властивостей за допомогою алгоритму AdaBoost. Використання каскаду змішаних класифікаторів дозволило збільшити швидкодію алгоритму виявлення.

K.V. Murygin
Detection of Car License Plate on the Basis of the Mixed Cascade of Classifiers
The article is devoted to a problem of car license plate detection on images. The decision is based on use of the cascade of classifiers in the course of multiscale scanning of images for search of one-line license plates. At cascade construction classifiers of different types were used: initial classifiers are based on the analysis of position of training objects in vertexes of a multidimensional cube (MCV-classifiers), final - were formed in the form of a linear combination of values of features by means of algorithm AdaBoost. Use of the cascade of the mixed classifiers has allowed to increase computing characteristics of detection algorithm.

Статья поступила в редакцию 26.01.2010.